

VU Research Portal

Spierbelasting en RSI

Hoozemans, M.J.M.; Visser, B.; Huijsmans, M.A.; Spekle, E.M.; van Dieen, J.H.

published in
Geneeskunde en Sport
2005

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Hoozemans, M. J. M., Visser, B., Huijsmans, M. A., Spekle, E. M., & van Dieen, J. H. (2005). Spierbelasting en RSI. *Geneeskunde en Sport*, 38, 7-13.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:
vuresearchportal.ub@vu.nl

Spierbelasting en RSI

REDACTIONEEL

RSI (repetitive strain injury) staat de laatste jaren sterk in de belangstelling. Dat is begrijpelijk want deze 'aandoening' gaat gepaard met groot ongemak en hoge kosten. Toch is er nog zeer veel onduidelijk aan RSI en is ook de naam aan discussie onderhevig. Onlangs heeft het Kenniscentrum Arbeid en Klachten Bewegingsapparaat (www.kenniscentrumakb.nl) het CANS model (complaints of arm, neck, and shoulder) geïntroduceerd. Volgens velen is de naam RSI echter teveel ingeburgerd en zal het moeilijk zijn iedereen ervan te overtuigen een andere naamgeving te gebruiken (zie bijvoorbeeld ook revalidatiearts Zondervan in Medisch Contact 2004;48:1892). Duidelijk is dat er onderscheid gemaakt moet worden tussen specifieke en aspecifieke klachten. Door het Coronel Instituut (AMC/UvA) is in 2000 in Europees verband een richtlijn voor de vaststelling van de arbeidsgerelateerdheid van aandoeningen aan het bewegingsapparaat in de bovenste extremiteit (ABBE) opgesteld. Bedrijfsartsen dienen volgens deze richtlijn bij het Nederlands Centrum voor Beroepsziekten (NCvB, www.beroepsziekten.nl) deze klachten als beroepsziekte te rapporteren.

In onderstaand stuk wordt RSI besproken aan de hand van enkele specifieke theorieën. Ons lijkt het zinvol aandacht te schenken aan deze theorieën en aan de opvattingen en overwegingen van de auteurs. Juist omdat RSI zo belangrijk is lijkt het ons nuttig daarnaast een discussie over RSI op gang te brengen, ongeacht welke naamgeving ervoor gebruikt wordt; wij nodigen de lezers van het blad dan ook uit, liefst op korte termijn, te reageren op deze visie op RSI. Reacties op basis van gevalideerd onderzoek hebben de voorkeur.

SAMENVATTING

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van een aantal theorieën omtrent het ontstaan van RSI (repetitive strain injury), in dit geval beperkt tot stoornissen van spieren. Bewegen is een ruizig proces. De mate van ruis wordt beïnvloed door bijvoorbeeld vermoeidheid en stress. Om aan precisie-eisen te blijven voldoen is een verhoogde spieractiviteit noodzakelijk. Ook positieve 'feedback-loops' via γ -motoneuronen zijn mogelijk verantwoordelijk voor deze verhoogde spieractiviteit. De Cinderella hypothese maakt aannemelijk dat ook bij laag intensieve spieractiviteit schade zou kunnen ontstaan, doordat de belasting op lokaal (spiervezel)niveau toch hoog kan zijn. Schade lijkt te ontstaan door een toename van de calciumconcentratie in de spiercellen bij langdurige spieractiviteit. Effectieve maatregelen tegen RSI lijken vooral het aanpassen van de taakeisen te zijn en het voorkomen van langdurige activatie van steeds dezelfde spiergroepen. ■

SUMMARY

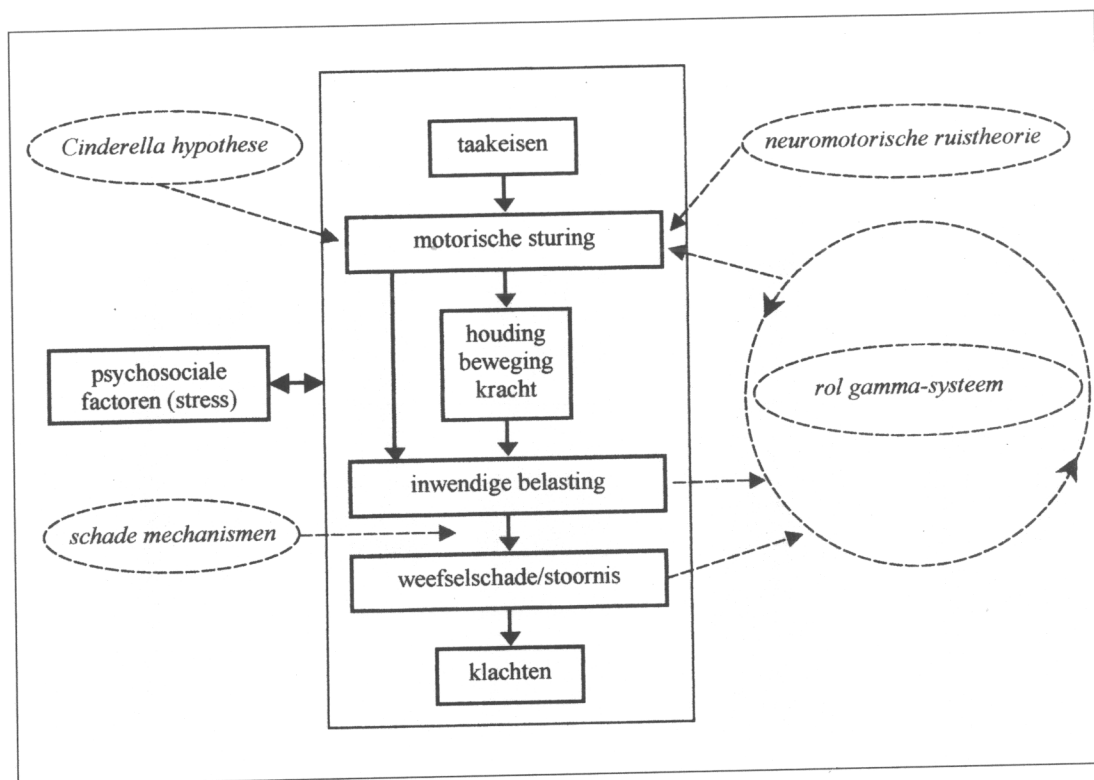
This paper presents an overview of theories concerning the development of RSI (repetitive strain injury), related to muscle disorders. Movement is a noisy process. The level of noise is affected by factors such as fatigue and psychosocial stress. In order for precision movements to be made in such situations, an increased level of muscle activity is required. Positive feedback loops through γ -motoneurons may be responsible for these increases in muscle activity. The Cinderella hypothesis suggests that damage may take place even when muscle activity is of low intensity, due to locally high levels of muscle load. An increase in calcium concentration in muscle cells during long periods of muscle activity may act as a mechanism of this damage. Optimisation of task demands and the prevention of continuous activation of the same groups of muscles appear to be effective measures in the prevention of RSI.

TREFWOORDEN: RSI, BOVENSTE EXTREMITETEN, SPIERBELASTING, PRECISIE, PATHOFYSIOLOGIE

Werkgerelateerde klachten aan nek, schouder, arm, elleboog, pols of hand komen in Nederland bij 20-30% van de werknemers voor^{5,13} en 8% van de werknemers blijkt hierdoor jaarlijks te verzuimen.³ Deze werkgerelateerde klachten worden vaak omschreven als RSI (repetitive strain injury) en kunnen dus voor aanzienlijke problemen zorgen. De Gezondheidsraad definieerde RSI als een tot beperkingen of participatieproblemen leidend multifactorieel bepaald klachtensyndroom aan nek, bovenrug, schouder, boven- of onderarm, elleboog, pols of hand of een combinatie hiervan, gekenmerkt door een verstoring van de balans tussen belasting en belastbaarheid, voorafgegaan door activiteiten met herhaalde bewegingen of een statische houding van één of meer van de genoemde lichaamsdelen als één van de veronderstelde etiologische factoren.⁷ De Gezondheidsraad concludeerde daarnaast dat er nog weinig bekend is over de effectiviteit van RSI-maatregelen en dat meer wetenschappelijk onderzoek nodig is. Naast (epidemiologisch) interventie-onderzoek naar de effectiviteit van maatregelen, vraagt dit ook om onderzoek naar de pathofysiologie (ontstaansme-

chanismen) van RSI, zodat preventie, reïntegratie en behandeling van RSI geoptimaliseerd kunnen worden. In de definitie van de Gezondheidsraad is al weergegeven dat de oorzaak van RSI multifactorieel is. Naast de door de Gezondheidsraad genoemde herhaalde bewegingen en statische houding, zijn ook het uitoefenen van grote krachten met de handen en blootgesteld worden aan (hand/arm) trillingen bewezen risicofactoren voor het ontstaan van RSI.¹ Bovendien lijkt er ook een belangrijke rol te zijn weggelegd voor psychosociale

factoren⁴ en werk dat precisie vereist.²¹ Er zijn dus meerdere risicofactoren en zij komen vaak ook in combinatie voor, waardoor het risico zelfs verhoogd lijkt te worden.²³ RSI is geen diagnose, maar een paraplubegrip voor een aantal specifieke en met name aspecifieke aandoeningen. De symptomen die bij RSI worden gerapporteerd (pijn, stijfheid, tintelingen, onhandigheid, coördinatieverlies, krachtsverlies, huidverkleuringen, temperatuurverschillen) wijzen op stoornissen van spieren, pezen, perifere zenuwen en de circulatie.²⁵ De verscheidenheid in risicofactoren en symptomen maken dat het niet mogelijk is om te spreken van 'het' ontstaansmechanisme, maar dat het gaat om verschillende mechanismen die naast elkaar een rol kunnen spelen bij het ontstaan van RSI, en waartussen ook interacties kunnen bestaan. In dit overzichtsartikel zal een aantal theorieën omtrent het ontstaan van RSI, met name voor stoornissen van spieren, worden besproken. De plaats van deze theorieën in relatie tot het ontstaan van klachten is in een eenvoudig model weergegeven (Figuur 1). Volgens dit model zorgen taakeisen die van buitenaf worden opgelegd via de daadwerkelijke uitvoering (motorische sturing door het aanspannen van spieren) tot de gevraagde combinatie van kracht, houding en beweging (externe belasting). Hierdoor zullen, onder andere, spieren en omliggende weefsels belast worden (inwendige belasting) waardoor de kans bestaat dat weefselschade kan optreden en uiteindelijk ook klachten kunnen worden aangegeven door het individu. Daarnaast



Figuur 1. Eenvoudig model voor het ontstaan van RSI, met daarin aangegeven de plaats van de in dit artikel besproken theorieën die een rol kunnen spelen bij het ontstaan van RSI.

speelt ook psychosociale belasting (stress) in op bijna alle niveau's in dit model. In het model is in de ovale kaders aangegeven welke theorieën in dit artikel zullen worden besproken en wat de plaats daarvan is binnen het voorgestelde model.

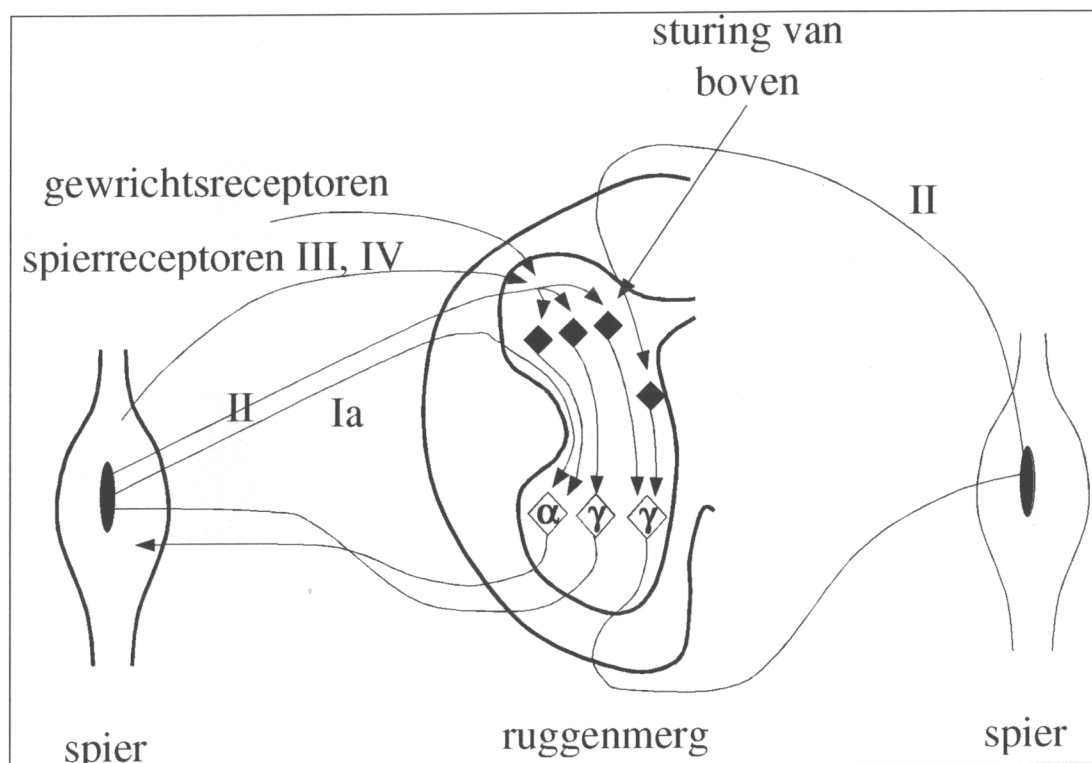
NEUROMOTORISCHE RUISTHEORIE

In Van Galen en Müller²⁸ wordt een experiment van Gomer et al.⁹ beschreven, waaruit blijkt dat een taak die bestaat uit repeterende handelingen en die vervolgens uitgebreid wordt met een mentaal belastende taak resulteert in meer tremoren in de hand, slechtere prestaties en een verhoogde spierspanning. Mede op basis van dit onderzoek en zelf uitgevoerde experimenten formuleerden Van Gemmert en Van Galen^{29,30} de neuromotorische ruistheorie. Beweging wordt hierin gezien als een van nature ruizig proces (zie bijvoorbeeld de handtremoren). Een voorbeeld dat hierbij past: iemand die tijdens een presentatie met een laserpointer iets aanwijst op het scherm waarop zijn/haar presentatie wordt geprojecteerd zal niet in staat zijn het geprojecteerde rode lichtpuntje perfect stil te houden, maar dit lichtpuntje zal enigszins trillen. Volgens Van Galen en Müller²⁸ is het getril (ruis) van het lichtpuntje het gevolg van eigenschappen van en de sturing door het zenuwstelsel en het houdings- en bewegingsapparaat, zoals sturingsmechanismen waarbij door middel van sensorische terugkoppeling de beweging op koers wordt gehouden, rekruteringsruis die ontstaat

doordat spieren in een voortdurend wisselende samenstelling van spiervezels kracht genereren, en mechanische oscillaties en tremoren van perifere en centrale oorsprong. Daarnaast blijken fysieke en mentale taakeisen (werkdruk) de ruizigheid van de beweging te vergroten. Denk daarbij bijvoorbeeld weer aan de presentator en zijn/haar laserpointer. Wanneer deze voor het eerst voor een groot en belangrijk publiek spreekt zal door grotere mentale druk (zenuwen) het trillen van het lichtpuntje op het projectiescherm alleen maar

erger worden. Tegelijkertijd blijkt dat bij experimenten met schrijftaken proefpersonen de pendruk verhogen onder verhoogde mentale druk.³⁰ Hoewel dus dezelfde schrijftaak wordt verricht, gaat dit bij verhoogde mentale druk gepaard met het leveren van meer kracht en een verhoogde spieractiviteit. Het verhogen van de spieractiviteit lijkt een oplossing om de verhoogde neuromotorische ruis mechanisch te filteren, zodat de taak toch naar behoren kan worden uitgevoerd. De verhoogde spieractiviteit maakt het hand/arm systeem stijver en dus minder gevoelig voor ruizigheid. Stijfheid in het hand/arm systeem kan worden verkregen door cocontractie waarbij agonisten en antagonisten tegelijkertijd worden aangespannen. Ondanks zijn zenuwen is de presentator toch in staat het lichtpuntje zo min mogelijk te laten trillen door de stijfheid te verhogen door bijvoorbeeld alle spieren in de arm en schouder aan te spannen of door de laserpointer tegen het lichaam of het spreekgestoelte aan te drukken.

Neuromotorische ruis lijkt vooral bij de uitvoering van taken met hoge precisie-eisen een (nadelige) rol te spelen. Bij het uitvoeren van een repeterende tekentaak vonden Laursen et al.²⁰ een hoger activiteitsniveau van de schouder-spieren bij een hoger precisieniveau. Dus, hoe hoger de vereiste precisie, hoe meer de ruis moet worden weggefilterd door een hoger niveau van spieractiviteit/cocontractie. In het onderzoek van Visser et al.³² is gekeken naar het effect van zowel precisie-eisen als mentale druk op de spieractiviteit en de kracht op de muis tijdens het uitvoeren van



Figuur 2. Pathofysiologisch model van Johansson.¹⁵

computertaken. In dit experiment is gebruik gemaakt van aanwijstaken en volgtaken. Bij de aanwijstaak verschijnen er bolletjes op het beeldscherm, die met de cursor door bediening van de muis moeten worden weggeklikt. Telkens als er een bolletje is weggeklikt verschijnt er op een willekeurige andere plaats een nieuw bolletje. Bij de volgtask moet geprobeerd worden met de cursor een bolletje op het beeldscherm te volgen, terwijl het bolletje over een cirkel op het beeldscherm loopt met een constante snelheid. Bij beide taken was er een laag precisieniveau met een groot bolletje (50 pixels) als doel en een hoog precisieniveau met juist een klein bolletje (15 pixels) als doel. De taken werden zowel met als zonder mentale druk uitgevoerd. Tijdens de conditie met mentale druk werd een zo hoog mogelijke prestatie door de proefleiders geëist, waarbij de deelnemers in deze conditie ook feedback kregen over hun prestaties. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat hoge precisie-eisen samengaan met een hogere activiteit van de polsstrekkers en een daling van de prestatie. Mentale druk blijkt een meer uitgesproken effect te hebben. Tijdens de condities met een hoge mentale druk is de spieractiviteit van de trapezius en polsbuigers en -strekkers hoger en zijn de krachten op de muis ook hoger. Bij de aanwijstaak kan dit nog mede veroorzaakt worden door de veranderingen in kinematica (versnellingen), omdat de bolletjes sneller werden aangewezen en weggeklikt. Echter, bij de volgtask werden alle condities met dezelfde snelheid uitgevoerd, zodat met enige zekerheid

gesteld kan worden dat hierbij de hogere spierspanning het gevolg is van mentale druk.

In figuur 1 is aangegeven dat de neuromotorische ruistheorie aangrijpt op het niveau van motorische sturing. De fysieke taakeisen (precisie) en mentale taakeisen of psychosociale factoren bepalen daarbij de benodigde aansturing van spieren en de mechanische filtering ofwel stijfheid van de bovenste extremiteiten. De taakeisen bepalen dus niet alleen de houding, kracht of beweging, maar kunnen dus ook meer aanspanning van spieren vragen dan in eerste instantie noodzakelijk lijkt (zie directe pijl van motorische sturing naar inwendige belasting).

MODEL JOHANSSON: ROL GAMMA-SYSTEEM

Een andere theorie die ook op motorische sturing, dus het patroon van spieraanspanning, inhaakt is het pathofysiologisch model van Johansson,^{15,16} waarbij aangegeven wordt dat positieve 'feedback-loops' via γ -motoneuronen verantwoordelijk zijn voor chronische spierpijn en verhogingen in de spierspanning.¹⁸ Travell et al.²⁷ vonden reeds dat beperking van beweging een reactie vormt op pijn in de spieren. Hierbij kan een vicieuze cirkel ontstaan doordat pijn reflexmatig een verhoogde spierspanning veroorzaakt, waardoor weer meer pijn ontstaat en vervolgens weer een hogere spierspanning. In de hypothese van Johansson spelen γ -motoneuronen een centrale rol bij de verklaring waarom nociceptieve prikkels kunnen zorgen voor verhoogde spierspanning.

In de spieren worden spierspanning (mate van rek) en lengteveranderingen gedetecteerd door spierspoeltjes in de spier (Figuur 2). Wanneer van buitenaf de spier wordt verlengd zullen de Ia en II afferenten vanuit de spierspoeltjes impulsen gaan afvuren (tabel 1). Deze afferenten hebben in het ruggenmerg een koppeling met α -motoneuronen, waardoor deze efferenten ook impulsen gaan afvuren, zodat de spiervezels samentrekken en de spierlengteverandering wordt tegengegaan. Naast de Ia en II afferenten worden de spierspoeltjes efferent geïnnerveerd door γ -motoneuronen. Activiteit van de γ -motoneuronen zorgt ervoor dat de intrafusale spiervezels (spiervezels in de spierspoeltjes) samentrekken. Behalve door extern opgelegde rek zullen de Ia en II afferenten dus ook door activiteit van γ -motoneuronen impulsen gaan afvuren. De γ -motoneuronen blijken altijd actief te zijn. Dit is nodig om een basisspanning in de intrafusale spiervezels te creëren, zodat de spierspoeltjes gevoelig zijn voor kleine lengteveranderingen en voor afname van de spierlengte.

In de hypothese van Johansson wordt gesteld dat pijn in de spier (of in nabij gelegen andere weefsels) een gevolg is van prikkeling van type III en IV afferenten in de spier en dat dit weer leidt tot een versterkte prikkeling van de γ -motoneuronen.⁶ Door de verhoogde activiteit van de γ -motoneuronen zullen ook de Ia afferenten meer impulsen gaan afvuren en zal dus ook de spieractiviteit omhoog gaan. Type III

en IV afferenten zijn niet alleen gevoelig voor pijnprikkels. Ook metaboliëten, zoals kaliumionen, lactaat, bradykinine en arachidonzuur, die in de spier vrijkomen bij langdurige (statische) activiteit, kunnen ervoor zorgen dat de afferenten impulsen gaan afvuren.¹⁷ De verhoogde spieractiviteit kan dus zorgen voor het ontstaan van een vicieuze cirkel. Daarnaast lijkt ook sympathische activiteit door (psychosociale) stress een verhoogde activiteit van de spierspoelafferenten te veroorzaken.²⁴

Efferenten

Vezeltype	Diameter van de vezel (μm)	Geleidings-snelheid (m/s)	Functie
α -motoneuronen ($A\alpha$)	13-20	80-120	Innervieren van snelle en langzame motoreenheden.
γ -motoneuronen ($A\gamma$)	4-8	25-50	Innervieren van intrafusale spiervezels die tot de spierspoeltjes behoren.

Afferenten

Vezeltype	Diameter van de vezel (μm)	Geleidings-snelheid (m/s)	Sensorische receptoren
Ia ($A\alpha$)	13-20	80-120	Spierspoelen.
Ib ($A\alpha$)	13-20	80-120	Pezen (Golgi-peessensoren) en gewrichtsligamenten.
II ($A\beta$)	6-12	35-75	Spierspoelen en gewrichtskapsels. Tast en bewegingsgevoel in de huid.
III ($A\delta$)	2-5	12-30	Lichaampje van Pacini (sensor in de onderhuid). Pijn, temperatuur en druk in de huid.
IV (C)	0,5-2	0,5-2,5	Nocisensoren in spieren en gewrichten. Pijn, temperatuur en druk in de huid.

Tabel 1. Efferenten en afferenten

In het artikel wordt aangegeven dat (verhoogde) spieractiviteit via een complex feedback-mechanisme reflexmatig gecontroleerd wordt. Vanuit sensorische receptoren (bijvoorbeeld in de spieren en in de huid) transporteren de afferente zenuwvezels signalen naar het centrale zenuwstelsel. In het ruggenmerg bestaan vervolgens complexe verbindingen met de motoneuronen (efferenten) die de skeletspiervezels en de intrafusale spiervezels in de spierspoeltjes aansturen. In de tabellen hierboven wordt de indeling van de efferente en afferente (sensorische) zenuwvezels weergegeven voor de zenuwvezels die voor het artikel van belang zijn. Hierbij is per vezeltype de diameter, de geleidingssnelheid en de functie of sensorische receptor gegeven.

Een tweede vicieuze cirkel kan ontstaan doordat type II afferenten afkomstig uit de spierspoeltjes γ -motoneuronen stimuleren. Er kan dan een vicieuze cirkel ontstaan die, onafhankelijk van de stimulatie van type III en IV afferenten, door pijnprikkels of langdurige spieractiviteit kan plaatsvinden. Hierdoor zou ook de chroniciteit van de klachten verklaard kunnen worden. Bovendien stimuleren de type II afferenten ook γ -motoneuronen van naburige spieren (Figuur 2), waardoor het model tevens kan verklaren waarom uitbreiding van de klachten naar omliggende spieren vaak optreedt.

De theorie van Johansson lijkt vooral bevestigd te worden bij experimenten met dieren.¹⁸ Bij mensen is er geen consistent bewijs gevonden, maar in het algemeen lijkt wel dat de spieractiviteit in rust niet toeneemt onder invloed van experimenteel veroorzaakte pijn. Onder invloed van pijn lijken spieren verhoogd actief te zijn tijdens verlenging of in fases van een beweging waarin ze normaal inactief zijn, terwijl tijdens verkorten de spier verminderd actief is.

Recent is door de groep van Johansson meer aandacht besteed aan de invloed van pijn en vermoeidheid op proprioceptie (houdingsgevoel). Het gevolg van een toename van de activiteit van de spierspoeltjes door een toename in type III en IV afferentie (door pijn of vermoeidheid) is dat de spierspoeltjes minder gevoelig worden voor het detecteren van rek- en lengteveranderingen.²² Hierdoor zou de kwaliteit van het uitvoeren van bewegingen slechter worden, waardoor meer spieractiviteit (met name cocontractie) nodig zou zijn om de prestatie bij het uitvoeren van een taak te handhaven. Björklund e.a.² onderzochten of juist ook vermoeidheid door laag-intensief repeterend werk, zoals computerwerk, van invloed is op proprioceptie. In een experimentele opstelling testten zij het positiegevoel in de schouder voor en na een laag intensieve herhaalde taak met de arm. De deelnemers aan het onderzoek moesten geblinddoekt hun arm op een horizontale ondersteuning plaatsen en werden vervolgens gevraagd verschillende posities in het horizontale vlak (15 en 30° adductie, 60 en 75° abductie) te reproduceren. Na de herhaalde taak met de arm was de prestatie van de deelnemers significant slechter dan voor de taak, wat erop duidt dat vermoeidheid veroorzaakt door laagintensieve arbeid een negatief effect heeft op het positiegevoel. Bij het uitvoeren van precisietaken kan een verstoord positiegevoel een prestatievermindering tot gevolg hebben, hetgeen gecompenseerd kan worden door een verhoogde mate van cocontractie. Bij langdurige activiteit zal door de verhoogde spieractiviteit meer vermoeidheid optreden en het positiegevoel verder verminderen. Dus ook hier is er sprake van een vicieuze cirkel die zou kunnen resulteren in het ontstaan of verergeren van klachten aan de bovenste extremiteiten.

In figuur 1 is de theorie van Johansson weergegeven als een (vicieuze) cirkel die wordt ingezet op basis van metabolieten die vrijkomen als gevolg van het uitoefenen van kracht,

houding en beweging (en dus met name langdurige statische contracties). Dit is aangegeven door de pijl van inwendige belasting naar de cirkel toe. Daarnaast kunnen ook pijn en de metabolieten die vrijkomen bij het ontstaan van schade de vicieuze cirkel in stand houden. Vandaar ook de pijl van weefselschade/stoornis naar de cirkel toe. Ten slotte, de pijl van de cirkel naar motorische sturing geeft aan dat de theorie van Johansson (negatief) inhaakt op de kwaliteit van het uitvoeren van doelgerichte bewegingen (bijvoorbeeld het verminderde positiegevoel door een verstoorde proprioceptie).

CINDERELLA HYPOTHESE

Eén van de vragen omtrent het ontstaan van RSI is hoe de klachten kunnen ontstaan terwijl de aangedane spieren op een relatief lage intensiteit actief zijn. Bij computerwerk bijvoorbeeld is de spieractiviteit vaak niet hoger dan tien procent van de activiteit tijdens een maximaal vrijwillige contractie. De zogenaamde Cinderella hypothese veronderstelt dat, terwijl de spier op een laag niveau actief is, de belasting op spiervezelniveau toch hoog kan zijn.¹² De hypothese is gebaseerd op het 'size principle' van Henneman,¹⁴ dat aangeeft dat kleine motorunits met type I vezels altijd voor de grotere motorunits geactiveerd worden. Bij langdurige activatie van een spier zullen dus de kleine motorunits als eerste geactiveerd worden, continu actief blijven en als laatste pas weer tot rust komen (zoals Assepoester, die altijd als eerste opstond om aan het werk te gaan en als laatste pas weer naar bed ging). De continue activatie van de kleine motorunits kan ervoor zorgen dat juist de spiervezels van deze motorunits beschadigd kunnen worden. Een bevestiging voor de Cinderella hypothese kan gevonden worden in het feit dat personen die veel EMG-'gaps' (korte onderbrekingen in de elektrische activiteit van de spier) vertonen minder kans hebben op het krijgen van RSI, doordat de rol van sommige spiervezels door andere wordt overgenomen.^{31,33} Omdat de Cinderella hypothese ingaat op de aansturing van motorunits is in figuur 1 aangegeven dat de Cinderella hypothese aanhaakt op het niveau van motorische sturing.

SCHADEMECHANISMEN

De neuromotorische ruistheorie en de theorie van Johansson geven vooral aan hoe en waarom het uitvoeren van taken met de bovenste extremiteiten kunnen leiden tot een verhoogde mate van spieractiviteit (cocontractie). De Cinderella hypothese maakt aannemelijk dat ook bij laagintensieve spieractiviteit de belasting op lokaal (spiervezel) niveau hoog kan zijn. De vraag is dan vervolgens hoe door spieractiviteit (inwendige belasting, Figuur 1) schade aan de spieren kan ontstaan (weefselschade/stoornis, Figuur 1). Bekend is dat hoogintensieve en met name excentrische spieractiviteit kan leiden tot beschadiging van de spiervezels.²⁶ Door beschadiging van de celmembranen komt het enzym creatine

kinase (CK) vrij dat in het bloed kan worden aangetoond. Ook bij laagintensief werk kunnen spiervezels beschadigd raken. Uit onderzoek van Hagberg e.a.¹⁰ blijkt dat na een week werken de verandering (toename) in de CK concentratie in het bloed bij werknemers die assemblagewerk doen, en die door het type werkzaamheden een verhoogd risico op het ontstaan van RSI hebben, groter is in vergelijking met een controlegroep van vorkheftruckchauffeurs en controleurs.

Eén van de mechanismen, die de oorzaak zou kunnen zijn van het ontstaan van schade aan de spiervezels, is intracellulaire calciumophoping. In rust is de calciumconcentratie in de spiercellen laag ten opzichte van de concentratie buiten de cellen. Bij activatie van de spiercellen komt calcium de spiercellen binnen, maar wordt ook weer afgevoerd. Bij langdurige activatie neemt de calciumconcentratie in de spiercellen toe, hetgeen schade aan de spiercellen kan veroorzaken.⁸ Werknemers die blootgesteld zijn aan risicofactoren voor RSI blijken ook aantoonbaar meer structurele schade aan spiervezels in de m. trapezius descendens te hebben in vergelijking met gezonde werknemers die niet zijn blootgesteld.¹¹ Echter, verschillen tussen patiënten met trapezius myalgie en gezonde werknemers die allemaal blootgesteld zijn aan risicofactoren voor RSI konden niet worden aangetoond, alhoewel er wel een relatie gevonden is tussen de mate van structurele schade en de ernst van de klachten.¹⁹

CONCLUSIE

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van een aantal veelbesproken theorieën omtrent het ontstaan van RSI die te maken hebben met stoornissen van spieren. Deze theorieën hebben betrekking op verschillende fases in het traject tussen het gaan voldoen aan de taakeisen en het ontstaan van schade aan spiervezels. Er is niet één duidelijke oorzaak voor het ontstaan van schade, en de besproken mechanismen kunnen tegelijk en in interactie met elkaar plaatsvinden. Het overzicht is bovendien niet volledig. Er zijn meerdere mechanismen die het ontstaan van schade aan spieren, gerelateerd aan RSI, mogelijk kunnen verklaren (Visser, 2004) en er zijn eveneens meerdere mechanismen die te maken hebben met het ontstaan van stoornissen van pezen, perifere zenuwen en circulatie die een relatie hebben met het ontstaan van RSI. Hopelijk mag uit dit overzicht duidelijk zijn geworden dat het lastig is om effectieve maatregelen te bedenken om RSI te voorkomen. Deze maatregelen moeten de taakeisen van het werk zodanig gaan aanpassen dat een verhoogde spieractiviteit door bijvoorbeeld cocontractie wordt vermeden en dat geldt eveneens voor langdurige (statische) activiteit van dezelfde spiergroepen.

REFERENTIES

1. Bernard BP. Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back. Cincinnati, USA: National Institute for Occupational Safety and Health, US Department of Health and Human Services (DHHS); 1997. Report No.: 97-141.
2. Bjorklund M, Crenshaw AG, Djupsjobacka M, Johansson H. Position sense acuity is diminished following repetitive low-intensity work to fatigue in a simulated occupational setting. *Eur J Appl Physiol* 2000;81:361.
3. Blatter BM, van den Heuvel SG, Bongers PM, Picavet HSJ, Schoemaker CG. De omvang van verzuim en arbeidsongeschiktheid door RSI. Arboconvenant: Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid; 2001.
4. Bongers PM, Kremer AM, ter Laak J. Are psychosocial factors, risk factors for symptoms and signs of the shoulder, elbow, or hand/wrist? *Am J Ind Med* 2002;41:315-342.
5. Buckle PW, Devereux JJ. The nature of work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders. *Appl Ergon* 2002;33(3):207-217.
6. Djupsjobacka M, Johansson H, Bergenheim M. Influences on the gamma-muscle-spindle system from muscle afferents stimulated by increased intramuscular concentrations of arachidonic acid. *Brain Res* 1994;663(2):293-302.
7. Gezondheidsraad. RSI. Den Haag: Gezondheidsraad; 2000. Report No.: 2000/22.
8. Gissel H. Ca^{2+} accumulation and cell damage in skeletal muscle during low frequency stimulation. *Eur J Appl Physiol* 2000;83(2-3):175-180.
9. Gomer FE, Silverstein LD, Berg WK, Lassiter DL. Changes in electromyographic activity associated with occupational stress and poor performance in the workplace. *Hum Factors* 1987;29(2):131-143.
10. Hagberg M, Michaelson G, Ortelius A. Serum creatine kinase as an indicator of local muscular strain in experimental and occupational work. *Int Arch Occup Environ Health* 1982;50(4):377-386.
11. Hagg GM. Human muscle fibre abnormalities related to occupational load. *Eur J Appl Physiol* 2000;83(2-3):159-165.
12. Hägg GM. Lack of relation between maximal force capacity and muscle disorders caused by low level static loads. A new explanation model. In: Queinnee Y, Daniellou F, editors. IEA; 1991; Paris: Taylor & Francis; 1991. p. 9-11.
13. Heinrich J, Blatter BM. RSI-klachten in de Nederlandse beroepsbevolking in 2000 en 2002. Trends, risicofactoren en verklaringen (submitted).
14. Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Excitability and inhibability of motoneurons of different sizes. *J Neurophysiol* 1965;28(3):599-620.
15. Johansson H, Sojka P. Pathophysiological mechanisms involved in genesis and spread of muscular tension in occupational muscle pain and in chronic musculoskeletal pain syndromes: a hypothesis. *Med Hypotheses* 1991;35(3):196-203.

16. Johansson H, Windhorst U, Djupsjöbacka M, Passatore M. Chronic work-related myalgia. Neuromuscular mechanisms behind work-related chronic muscle pain syndromes. Gävle: Gävle University Press; 2003.
17. Kaufman MP, Longhurst JC, Rybicki KJ, Wallach JH, Mitchel JH. Effects of static muscular contraction on impulse activity of groups III and IV afferents in cats. *J Appl Physiol* 1983;55:105-112.
18. Knutson GA. The role of the gamma-motor system in increasing muscle tone and muscle pain syndromes: a review of the Johansson/Sojka hypothesis. *J Manipulative Physiol Ther* 2000;23(8):564-572.
19. Larsson SE, Bodegard L, Henriksson KG, Oberg PA. Chronic trapezius myalgia. Morphology and blood flow studied in 17 patients. *Acta Orthop Scand* 1990;61(5):394-398.
20. Laursen B, Jensen BR, Sjogaard G. Effect of speed and precision demands on human shoulder muscle electromyography during a repetitive task. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;78(6):544-548.
21. Milerad E, Ericson MO. Effects of precision and force demands, grip diameter, and arm support during manual work: an electromyography study. *Ergonomics* 1994;37(2):255-264.
22. Pedersen J, Ljubisavljevic M, Bergenheim M, Johansson H. Alterations in information transmission in ensembles of primary muscle spindle afferents after muscle fatigue in heteronymous muscle. *Neuroscience* 1998;84(3):953-959.
23. Punnett L, Wegman DH. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *J Electromyogr Kinesiol* 2004;14(1):13-23.
24. Roatta S, Kalezić N, Passatore M. Sympathetic nervous system: interaction with muscle function and involvement in motor control. In: *Chronic work-related myalgia. Neuromuscular mechanisms behind work-related chronic muscle pain syndromes*. Gävle: Gävle University Press; 2003.
25. Sluiter JK, Rest KM, Frings-Dresen MH. Criteria document for evaluating the work-relatedness of upper-extremity musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health* 2001;27 Suppl 1:1-102.
26. Stauber WT. Eccentric action of muscles: physiology, injury, and adaptation. *Exerc Sport Sci Rev* 1989;17:157-185.
27. Travell J, Rinzler S, Herman M. Pain and disability of the shoulder and arm. *JAMA* 1942;120:417-422.
28. Van Galen GP, Müller M. Stress, neuromotorische ris en spierspanning en het ontstaan van RSI. *Tijdschrift voor Ergonomie* 2001;26(2):3-17.
29. Van Gemmert AW, Van Galen GP. Auditory stress effects on preparation and execution of graphical aiming: a test of the neuromotor noise concept. *Acta Psychol (Amst)* 1998;98(1):81-101.
30. Van Gemmert AW, Van Galen GP. Stress, neuromotor noise, and human performance: a theoretical perspective. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1997;23(5):1299-1313.
31. Veiersted KB, Westgaard RH, Andersen P. Electromyographic evaluation of muscular work pattern as a predictor of trapezius myalgia. *Scand J Work Environ Health* 1993;19(4):284-290.
32. Visser B, De Looze M, De Graaff M, Van Dieën J. Effects of precision demands and mental pressure on muscle activation and hand forces in computer mouse tasks. *Ergonomics* 2004;47(2):202-217.
33. Westgaard RH, de Luca CJ. Motor unit substitution in long-duration contractions of the human trapezius muscle. *J Neurophysiol* 1999;82(1):501-504.

OVER DE AUTEURS

Dr. Marco Hoozemans, prof.dr. Jaap van Dieën, dr. Bart Visser, drs. Maaïke Huysmans en Erwin Speklé zijn werkzaam bij de Faculteit der Bewegingswetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam en doen tevens onderzoek bij Body@Work, Onderzoekscentrum Bewegen, Arbeid en Gezondheid, TNO-VU. Bart Visser en Marco Hoozemans zijn tevens verbonden aan EXPres - Expertisecentrum Revalidatie, Ergonomie en Sport, bij de Faculteit der Bewegingswetenschappen. Maaïke Huysmans is tevens werkzaam bij TNO Arbeid in Hoofddorp en Erwin Speklé werkt als ergonomist bij Arbo Unie.

Correspondentieadres: M.J.M. Hoozemans, Faculteit der Bewegingswetenschappen, Vrije Universiteit, Van der Boerhorststraat 9, 1081 BT Amsterdam, tel 020-5988561, fax 020-5988529. E-mail m.hoozemans@fbw.vu.nl